



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE

EAI SIE 2

SESSION 2018

**AGREGATION
CONCOURS INTERNE
ET CAER**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

**Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR
ET INGÉNIERIE ÉLECTRIQUE**

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE
ORGANISATION**

Durée : 4 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie.

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► **Concours interne de l'Agrégation de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1416A	102	7048

CENTRALE DE COGÉNÉRATION À BIOMASSE

Le sujet comporte 27 pages :

- **Questionnement :** pages 3 à 14
- **Annexes :** pages 15 à 16
- **Documents ressources :** pages 17 à 20
- **Documents techniques :** pages 21 à 24
- **Documents réponses :** pages 25 à 27

Le sujet est constitué de plusieurs parties qui sont toutes à traiter.

Il sera tenu compte de la cohérence avec laquelle les candidats traiteront les questions, le jury préférant une réflexion d'ensemble des parties abordées à un éparpillement des réponses. Certaines parties restent toutefois indépendantes.

Les candidats sont invités à numéroter chaque page de leur copie et à indiquer clairement le numéro de la question traitée.

Il leur est rappelé qu'ils doivent utiliser les notations propres au sujet, présenter clairement les calculs et dégager ou encadrer tous les résultats.

Tout résultat incorrectement exprimé ne sera pas pris en compte.

Il est attendu des candidats qu'ils s'expriment avec une écriture lisible et qu'ils soignent la qualité de leur copie.

Il sera tenu compte de la qualité de rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le correcteur attend des phrases complètes respectant la syntaxe de la langue française.

Il est rappelé que lors du passage d'une forme littérale à son application numérique, il est recommandé aux candidats de procéder comme suit : après avoir rappelé la relation littérale, chaque grandeur est remplacée par sa valeur numérique en respectant la position qu'elle avait dans la relation puis le résultat numérique est donné sans calculs intermédiaires et sans omettre son unité.

Si le texte du sujet, de ses questions ou de ses annexes, conduit les candidats à formuler une ou plusieurs hypothèses, il leur est demandé de la (ou les) mentionner explicitement dans la copie.

A. Présentation de la centrale de cogénération à biomasse

La société Mini Green Power (MGP), basée dans le sud de la France, conçoit et commercialise des mini centrales de cogénération à biomasse. Ces centrales reposent sur un procédé breveté de pyro-gazéification avec combustion étagée des déchets végétaux (biomasse). L'énergie générée par la pyro-gazéification peut être utilisée pour des applications en chaleur pure ou être convertie en électricité, ou en froid.

On parle de "cogénération" lorsqu'on produit plusieurs natures d'énergie en sortie de la centrale.

Les centrales de MGP sont entièrement automatisées, pilotables à distance et se déclinent en quatre puissances thermiques : 550 kW, 750 kW, 2 MW et 2,5 MW.

L'objectif pour Mini Green Power (MGP) est d'installer des centrales près des lieux de génération de déchets végétaux pour ne pas émettre des gaz à effet de serre lors du transport de la biomasse. On retrouve donc les centrales de MGP près des producteurs de fruits à coques, des producteurs de pruneaux, des papeteries.

Les émissions mesurées en sorties des centrales de MGP sont bien inférieures à celles des technologies existantes et respectent les normes imposées aux chaudières biomasse.

B. Structure des centrales conçues par Mini Green Power

L'architecture des centrales est donnée en annexe 1. Ces centrales sont composées de 3 modules.

Le 1^{er} module permet le stockage de la biomasse (préalablement broyée par le client) dans un container à fond mouvant. La biomasse est acheminée vers un réservoir intermédiaire par un système de roue et vis sans fin.

Le 2^e module comprend le gazéifieur dans lequel la biomasse va subir plusieurs transformations (pyrolyse, combustion, post combustion) à des températures différentes avec ou sans apport d'air. Le gaz synthétique obtenu en sortie du gazéifieur est appelé Syngaz et sert à l'alimentation d'une chaudière. L'automate en charge de la gestion de la gazéification est un Compact Rio de National Instrument.

Il reçoit des informations sur :

- l'humidité de la biomasse ;
- les températures en différents points du 2^e module ;
- les consignes de puissance que souhaite obtenir l'exploitant.

À partir de ces données, il détermine :

- le débit de la biomasse en entrée du module ;
- les durées des étapes de pyrolyse et de gazéification ;
- les débits d'air nécessaires pour la phase de gazéification.

Il émet des messages d'alerte en cas d'élévation trop importante de la température sur la vis d'acheminement de la biomasse (risque de retour de flamme). Des réservoirs d'eau à proximité du gazéifieur permettent d'éteindre automatiquement un éventuel début d'incendie.

Le 3^e module permet la production d'énergie électrique grâce à une machine thermodynamique à cycle de Rankine : l'OCR (Organic Cycle Rankine), voir document ressource 1.

C. Mise en situation

Mini Green Power a installé une mini centrale verte de 550 kWth (kilo Watt thermique) en Sicile dans une usine de fabrication de granulés de bois. Cette mini-centrale permet la production de chaleur et d'électricité grâce à une turbine OCR.

La centrale de Mini Green Power reçoit les déchets végétaux non utilisables pour la fabrication des granulés de bois (pellets). Ces pellets sont séchés par la chaleur générée par la centrale et l'excédent d'électricité est revendu à l'ENEL, principal fournisseur d'énergie électrique en Italie.

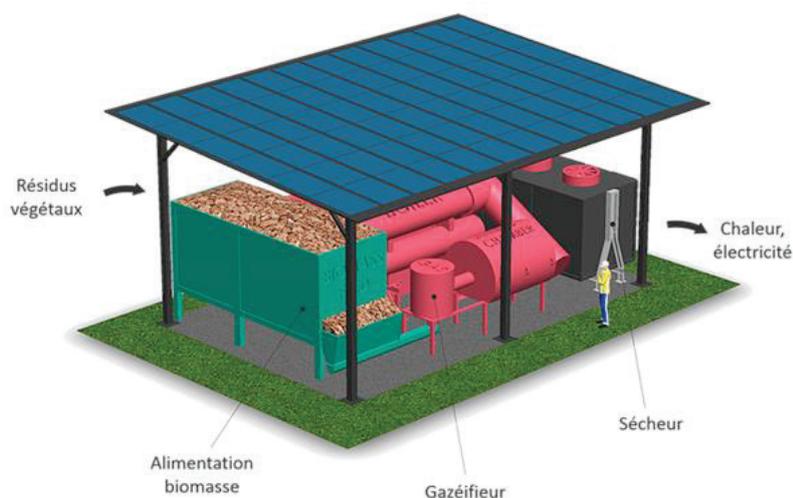


Figure 1 : centrale de cogénération en Sicile pour le séchage des pellets

D. Intérêt de la cogénération à biomasse en Sicile

On se propose dans cette partie de mettre en évidence l'intérêt d'une cogénération à biomasse dans l'usine de production de pellets en Sicile.

Question 1

À partir de la présentation de la mini centrale verte, compléter le tableau du document réponse 1 permettant d'expliquer en quoi les centrales produites par MGP répondent à une double problématique technique et environnementale.

Question 2

En Italie, le kW·h produit à partir de la biomasse est racheté par ENEL, 25 cts contre 4,5 cts par ENEDIS en France. À partir des documents de l'annexe 2, expliquer ce qui pousse ENEL à avoir une politique plus incitative que la France pour la production d'énergie électrique par biomasse.

L'exploitant a évalué le débit moyen de déchets végétaux à 250 kg·h⁻¹ en entrée de la centrale. Il a besoin d'une puissance de 155 kWth pour le séchage des pellets et souhaite pouvoir revendre une puissance électrique moyenne de 35 kW, sans descendre en dessous de 20 kW. On se propose

d'analyser les différents paramètres permettant d'optimiser le fonctionnement de la mini-centrale verte.

Pour cela, nous allons évaluer la puissance calorifique nécessaire en entrée de la centrale ainsi que les différents paramètres influençant son rendement.

E. Détermination de la puissance calorifique nécessaire en entrée de la centrale

E.1. Évaluation de la puissance nécessaire en entrée de l'échangeur thermique

Le coefficient d'efficacité des échangeurs thermiques et des pertes calorifiques lors du transport a été évalué par les ingénieurs de MGP à 66 %.

Question 3

Évaluer la puissance nécessaire P_1 en entrée de l'échangeur thermique. Compléter le document réponse 1.

E.2. Évaluation de la puissance nécessaire en entrée du module

E.2.1. Évaluation du rendement de l'OCR

Le module OCR est une machine thermodynamique ditherme. Le fluide qui circule dans cette machine thermodynamique est en contact avec deux sources de chaleur : une source chaude et une source froide. Il subit des transformations cycliques au cours desquelles il y a échange d'énergie avec le milieu extérieur. Son fonctionnement est expliqué dans le document ressource 1.

Question 4

Compléter le document réponse 2, en indiquant l'état du fluide, sa température (basse ou haute température) et sa pression (basse ou haute pression) pour chaque étape du cycle thermodynamique.

Question 5

À partir des rappels de thermodynamique du document ressource 1, démontrer que le rendement du module OCR est majoré par :

$$\rho = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Avec T_1 : température de la source chaude

T_2 : température de la source froide

ρ : rendement de l'OCR, énergie en sortie de l'OCR divisée par l'énergie calorifique de la source chaude.

Question 6

Les valeurs des températures T_1 et T_2 lisibles sur l'annexe 1 sont respectivement de 180 et 160°C. Calculer la valeur maximale du rendement. Reporter cette valeur sur le document réponse 1.

Question 7

Indiquer sur quels paramètres agir pour améliorer le rendement.

E.2.2. Étude de la conversion d'énergie électrique en sortie de l'OCR

La puissance mécanique est convertie en puissance électrique par une machine synchrone triphasée à aimants permanents fonctionnant en génératrice. La vitesse de l'arbre de la génératrice n'étant pas régulée, on ne peut pas relier directement la machine synchrone au réseau. La solution retenue est

d'utiliser un étage intermédiaire continu obtenu à partir d'un redresseur MLI (voir figure 2). Cette tension continue est ensuite convertie en alternatif avec un onduleur MLI.

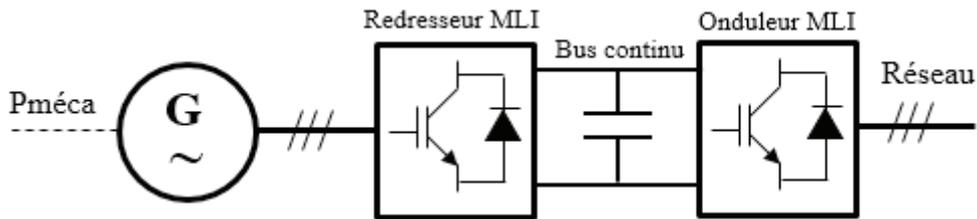


Figure 2 : chaîne de conversion d'énergie

Justification d'un redresseur MLI : le schéma avec un redresseur triphasé conventionnel est donné figure 3.

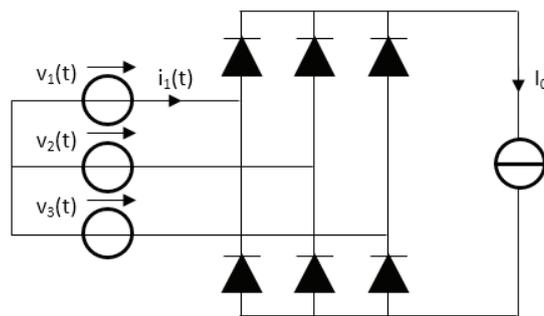


Figure 3 : redresseur PD3

Pour simplifier les calculs, on modélise la charge par une source de courant parfaite de valeur I_0 .

Question 8

Justifier le modèle de la charge.

Question 9

Tracer sur le document réponse 2 l'allure du courant $i_1(t)$ sur une période en considérant $v_1(t)$ comme origine des phases. Les tensions $v_1(t)$, $v_2(t)$ et $v_3(t)$ forment un système triphasé équilibré direct.

Question 10

Donner l'expression analytique de $i_{1.1}(t)$ fondamental de $i_1(t)$. En déduire la valeur de φ_1 qui est le déphasage entre $i_{1.1}(t)$ et $v_1(t)$.

On utilise le modèle de Behn Eschenburg pour la machine synchrone triphasée. On donne figure 4, le schéma équivalent pour une phase. Toutes les grandeurs sont supposées sinusoïdales. Le courant I est assimilé à son fondamental $i_{1.1}(t)$ exprimé à la question précédente. \underline{I} , \underline{E} et \underline{V} sont des grandeurs complexes.

X : réactance synchrone en Ω

Avec $X = L \times \omega = L \times p \times \Omega$ avec p nombre de paires de pôles et Ω vitesse du rotor.

E : module de la fem induite par phase en V

Avec $E = K \times \Phi \times \Omega$ avec K constante de fem, Φ flux et Ω vitesse du rotor.

R : résistance d'un enroulement statorique en Ω .

V : module de la tension de sortie.

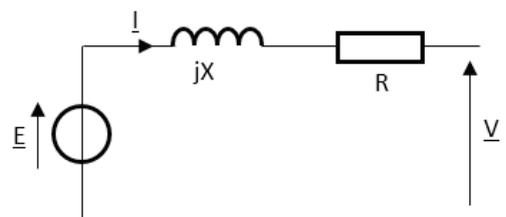


Figure 4 : modèle de la machine synchrone

On appelle θ l'angle interne, déphasage entre \underline{E} et \underline{V} , φ le déphasage entre \underline{I} et \underline{V} .
On néglige les pertes Joule dans le stator de la machine synchrone.

Question 11

Dessiner un diagramme vectoriel représentant \vec{V} , $jX\vec{I}$ et \vec{E} avec $\varphi > 0$.

Question 12

Exprimer P , la puissance électrique fournie de la machine synchrone en fonction du module de \underline{E} , du module de \underline{V} , de X et θ . Indiquer pour quelle valeur θ_1 de θ la puissance P est maximale.

Question 13

Montrer en utilisant le diagramme vectoriel que l'on ne peut pas atteindre l'angle θ_1 avec $\varphi = \varphi_1$.

Question 14

Conclusion : indiquer en quoi le redresseur MLI permet d'améliorer le rendement global du système.

E.3. Étude de la chaîne d'acquisition des températures dans le gazéifieur

La qualité et la sécurité de la gazéification sont étroitement liées à la précision et à la rapidité de l'acquisition de la température. Les capteurs utilisés sont des thermocouples de type K associés au module NI9213 de National Instrument (voir documents techniques 1 et 2). Les tensions de sortie d'un thermocouple sont de l'ordre du millivolt et nécessitent une vigilance particulière face aux perturbations susceptibles d'influencer la précision des mesures.

L'objectif de cette partie est de justifier le choix du mode d'acquisition entre un mode haute résolution et un mode rapidité.

Question 15

Le document technique 1 donne les courbes de réponse de différents thermocouples. Justifier le choix des thermocouples type K, la température mesurée étant de 950°C.

Question 16

Relever la valeur de la tension présente sur l'entrée différentielle de l'amplificateur d'instrumentation du module NI9213 pour une température de 950°C (le module NI9213 possédant un système de compensation de soudure froide, on ne tiendra pas compte de la température ambiante).

Le NI9213 propose deux modes de fonctionnements : un mode « haute résolution » et un mode « haute vitesse ». On se propose de justifier le mode choisi par les concepteurs de MGP en se basant sur deux critères : la période d'échantillonnage et la réjection de la tension en mode commun.

Le gazéifieur est équipé de quatre points de mesure de la température. Pour des raisons de sécurité, chaque point de mesure est assuré par trois thermocouples différents.

Question 17

À partir de la documentation technique du NI9213 (voir document technique 2), calculer pour chaque thermocouple, l'intervalle de temps entre deux mesures pour les deux modes de fonctionnement.

Le module NI9213 comporte un amplificateur d'instrumentation dont la tension de sortie V_s peut être mise sous la forme : $V_s = A_d \times V_d + A_c \times V_{mc}$

Avec V_d : tension différentielle image de la température

V_{mc} : tension en mode commun, source d'erreur d'acquisition

A_d : coefficient d'amplification en mode différentiel

A_c : coefficient d'amplification en mode commun

Le gain différentiel a été réglé à 40 dB. La tension en mode commun qui vient se superposer à la mesure différentielle de la température est $V_{mc} = 1V$.

Question 18

À partir des valeurs du taux de réjection en mode commun (TRMC) lues dans la documentation technique 2, calculer la valeur de la tension de sortie de l'amplificateur d'instrumentation à 950°C pour les deux modes d'acquisition.

Déterminer en pourcentage l'erreur introduite par l'amplification en mode commun.

Question 19

Dresser un tableau récapitulatif des résultats obtenus dans les deux précédentes questions, justifier le choix du mode "haute vitesse" pris par les concepteurs.

E.4. Détermination de la puissance calorifique en entrée de la mini centrale verte

La gazéification dont les paramètres ont été judicieusement choisis permet d'obtenir un rendement proche de 100 %. Les modélisations effectuées par les ingénieurs de MGP ont permis d'évaluer un rendement de 92,3 % sur la chaudière.

Question 20

À partir des résultats précédents, évaluer la puissance calorifique nécessaire en entrée du gazéifieur. Compléter le document réponse 1.

F. Influence du taux d'humidité de la biomasse

La valeur énergétique du bois est calculée à partir du pouvoir calorifique du bois (PCI). Le PCI correspond à la quantité d'énergie (par unité de masse ou de volume) dégagée par la combustion du bois. Il varie essentiellement en fonction du taux d'humidité du bois.

Concrètement, le PCI n'est pas mesuré directement mais est calculé à partir du taux d'humidité du bois et en tenant compte du type d'essence, bien que ce deuxième paramètre soit moins significatif.

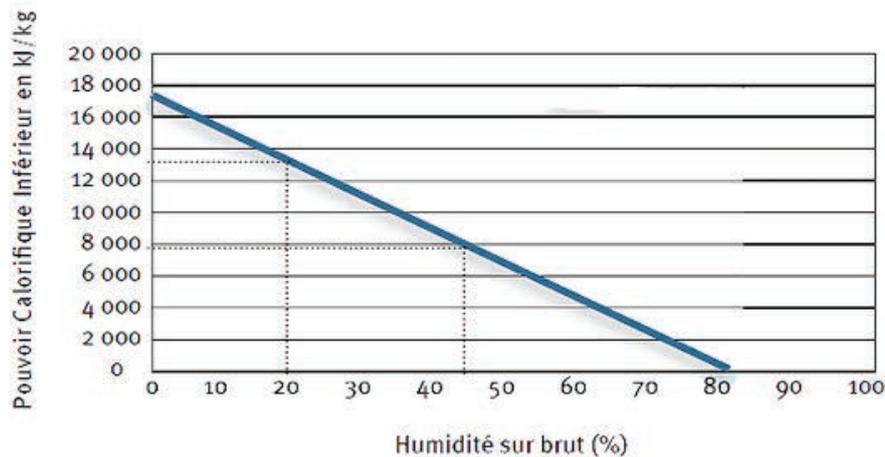


Figure 5 : PCI en fonction du taux d'humidité

F.1. Mise en évidence de l'intérêt d'une régulation de l'humidité de la biomasse

Question 21

Donner l'expression de la puissance calorifique en entrée du gazéifieur en fonction du PCI et du débit de biomasse D .

Question 22

À partir du graphe de la figure 5, déduire le taux d'humidité maximal de la biomasse pour alimenter la centrale avec une puissance calorifique de 600 kW et un débit de 250 kg/h.

Question 23

Conclure sur l'intérêt de procéder à un pré-séchage de la biomasse avant son utilisation.

Ce pré-séchage n'a pas encore été mis en place dans les centrales de Mini Green Power, nous étudierons par la suite la faisabilité d'une régulation d'humidité de la biomasse.

F.2. Acquisition de la mesure de l'humidité relative de la biomasse

La mesure de l'humidité de la biomasse est essentielle pour :

- mieux contrôler la combustion, en ajustant l'apport d'air en fonction de l'humidité ;
- éviter l'extinction de la flamme si le produit est anormalement humide ;
- calculer la puissance disponible en entrée à partir du débit de biomasse et de son PCI.

L'acquisition de cette grandeur est réalisée par un capteur capacitif, le HCT01, associé au transmetteur EE160 de référence complète : EE160-HTx3xPBB/1BE1M. Les documents techniques 3 et 4 présentent les caractéristiques de ces deux composants.

Question 24

Indiquer quel paramètre du capteur capacitif varie avec l'humidité.

Question 25

Calculer la valeur de la capacité pour des humidités relatives de 20% et 40%.

Question 26

À partir de la référence du transmetteur, compléter le tableau du document réponse 3 précisant les paramètres de la transmission.

Question 27

La transmission se fait en mode différentiel. Expliquer l'intérêt d'une liaison différentielle plutôt qu'une liaison en mode commun.

Question 28

À l'aide du document ressource 2, évaluer le débit de la transmission sur la trame de la figure 6. Comparer le résultat à celui déterminé précédemment. Vérifier également le type de contrôle de parité.

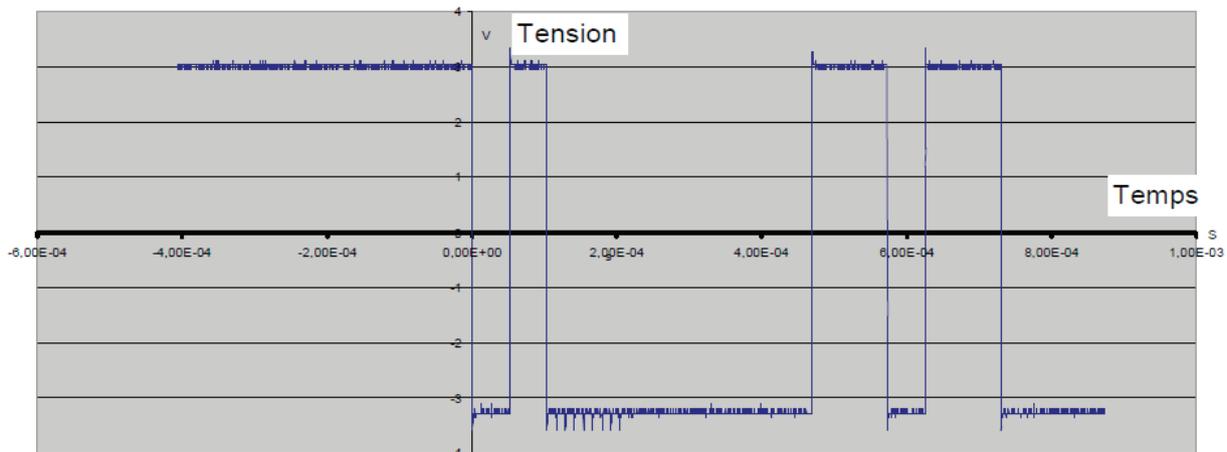


Figure 6 : extrait de trame RS485

L'automate de supervision utilisé est un API de National Instrument : le Compact Rio.

Il émet vers le transmetteur la trame suivante : F7 03 0029 0001 5154.

En retour, la trame reçue par l'automate est : F7 03 02 04B3 3324.

Question 29

La valeur transmise par le transmetteur est la valeur de l'humidité multipliée par cent. Analyser la structure des trames transmises et reçues par l'automate. Déterminer précisément la valeur de l'humidité transmise par le capteur. Indiquer si la gazéification pourrait avoir lieu dans de bonnes conditions.

F.3. Optimisation du rendement par une régulation de l'humidité de la biomasse

Le graphe de la figure 7 montre un relevé de la puissance électrique délivrée par la centrale.

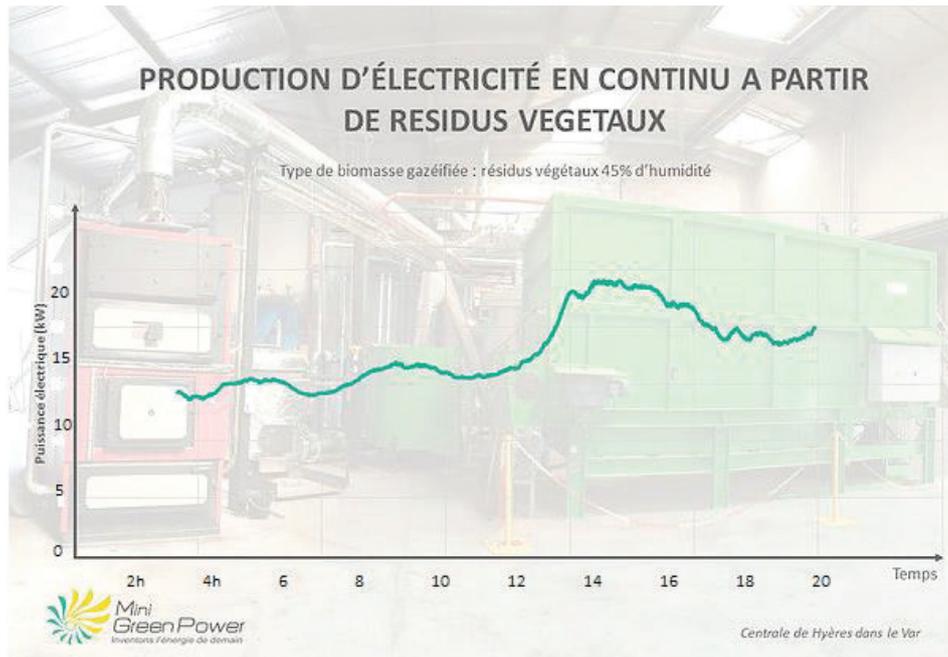


Figure 7 : puissance électrique produite par la mini centrale verte

Question 30

Évaluer par une méthode d'intégration de votre choix la puissance électrique moyenne fournie par la centrale. Indiquer si cette puissance correspond à celle imposée dans le cahier des charges par l'exploitant.

Pour améliorer le rendement de la centrale, on souhaite étudier un système de séchage de la biomasse dans le module de stockage. La biomasse est soumise à l'air chaud provenant de la centrale pour faire baisser son taux d'humidité.

Plus le temps passé dans le sécheur sera grand, plus le taux d'humidité relative de la biomasse sera bas. On contrôle ce taux d'humidité en agissant sur la vitesse de la roue et vis sans fin, commandée par un moteur asynchrone triphasé. Le schéma figure 8 représente le schéma TI.

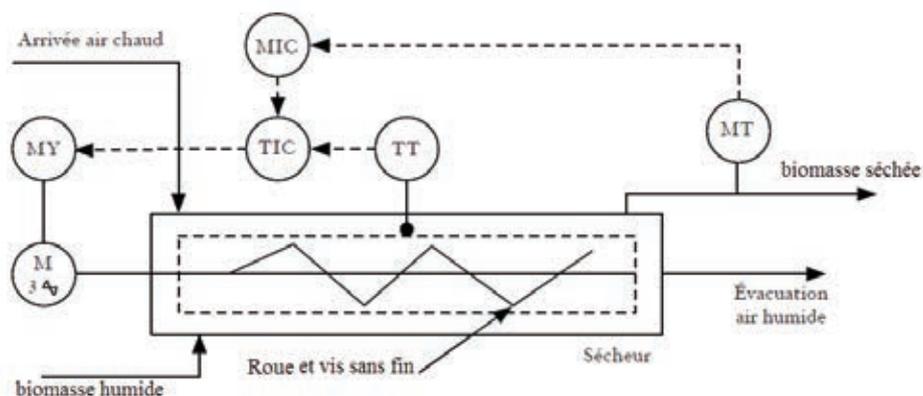


Figure 8 : schéma TI de la régulation d'humidité de la biomasse

TIC : contrôleur de température

TT : capteur et transmetteur de température

MIT : contrôleur d'humidité

MT : capteur et transmetteur d'humidité

On associe au processus numérique un modèle continu dans le but de simplifier l'étude. Le schéma fonctionnel figure 9 ne représente que la partie utile à l'analyse. La modélisation du processus met en évidence une régulation de type cascade. Nous nous proposons de mettre en œuvre cette régulation. Plusieurs étapes sont nécessaires :

- identification et réglage de la boucle interne ;
- détermination des paramètres de la boucle externe ;
- programmation du PID de la boucle externe.

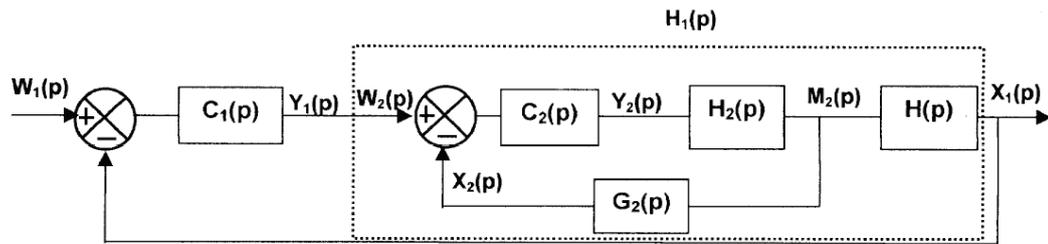


Figure 9 : schéma bloc de la régulation d'humidité

avec : $C_1(p)$ et $C_2(p)$: fonctions de transfert des correcteurs utilisés.

$H(p)$ et $H_2(p)$: fonctions de transfert des éléments du sécheur.

Question 31

Ajouter sur le document réponse 3, les grandeurs $W_1(p)$, $Y_1(p)$, $X_1(p)$, $W_2(p)$, $M_2(p)$.

F.3.1. Identification de la fonction de transfert de la boucle interne et détermination du correcteur $C_2(p)$

La mise en œuvre d'une stratégie de régulation nécessite une identification des différentes fonctions de transfert.

On se propose d'utiliser la méthode de Broïda pour l'identification de la fonction de transfert $H_2(p)$ qu'on supposera être de la forme :

$$H_2(p) = \frac{K \times e^{-\tau \times p}}{1 + T \times p}$$

Question 32

Justifier la forme de $H_2(p)$ (présence d'un retard pur associé à un 1^{er} ordre).

La réponse indicielle de $H_2(p)$ est donnée figure 10.

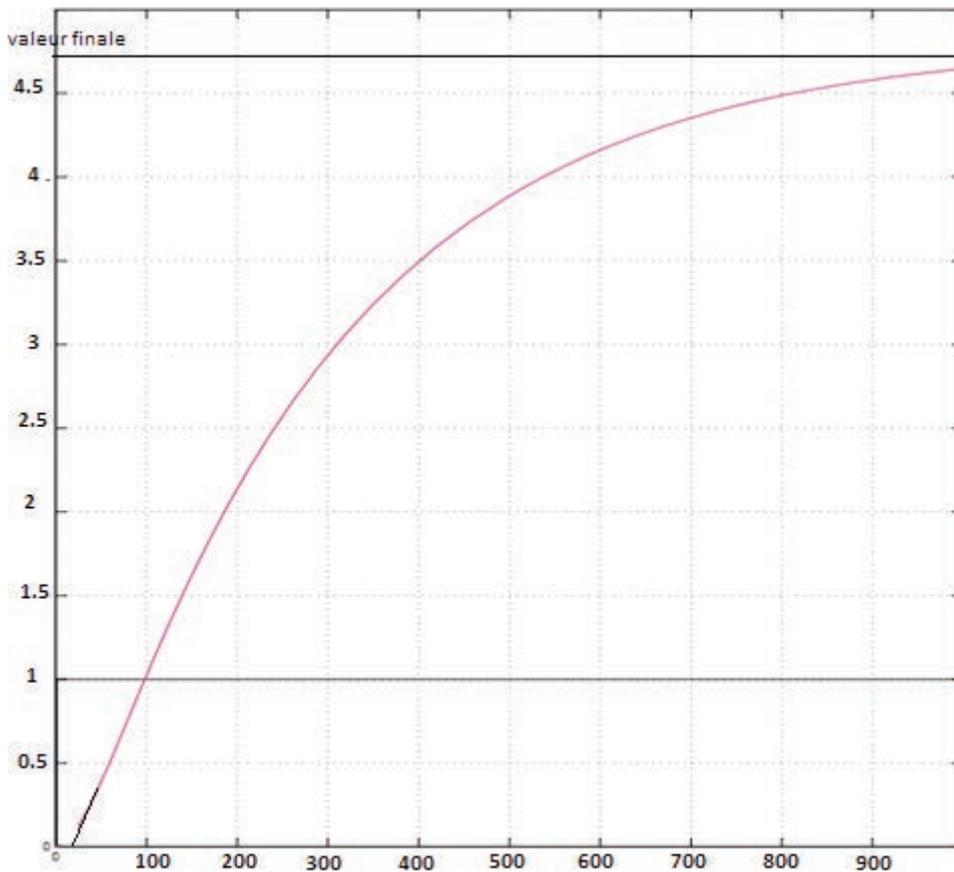


Figure 10 : réponse indicielle de $H_2(p)$, l'unité de temps est la seconde

Question 33

À partir de la réponse indicielle présentée figure 10 et du document ressource 3, identifier les éléments de la fonction de transfert $H_2(p)$.

Question 34

Conclure sur la validité de ce modèle sachant que le modèle de Broïda est considéré comme satisfaisant pour $\frac{\tau}{T} < 0,25$.

Pour les questions suivantes, on utilisera les fonctions de transfert suivantes :

$$H_2(p) = \frac{4,8 \times e^{-32p}}{1 + 280p}$$

$$G_2(p) = 1$$

$$H(p) = \frac{0,8}{1 + 90p}$$

On souhaite déterminer les paramètres du correcteur PID. On choisit un correcteur PID série dont la forme de la fonction de transfert est :

$$C_2(p) = A_2 \times \left(1 + \frac{1}{T_i \times p}\right) \times (1 + T_d \times p)$$

Question 35

À partir de la méthode expliquée dans le document ressource 3, calculer les paramètres du correcteur série.

Afin de déterminer les marges de phase et de gain, une série de mesures a permis d'obtenir les diagrammes de Bode de la figure 11. Nous souhaitons valider le choix de ce correcteur en vérifiant la stabilité de la boucle interne.

Question 36

Indiquer, en expliquant votre démarche, la valeur de la marge de gain lue sur les diagrammes de Bode de la figure 11.

Question 37

Calculer la marge de gain de la boucle interne. Comparer votre résultat avec celui obtenu par la simulation (question 36). Conclure sur le résultat obtenu.

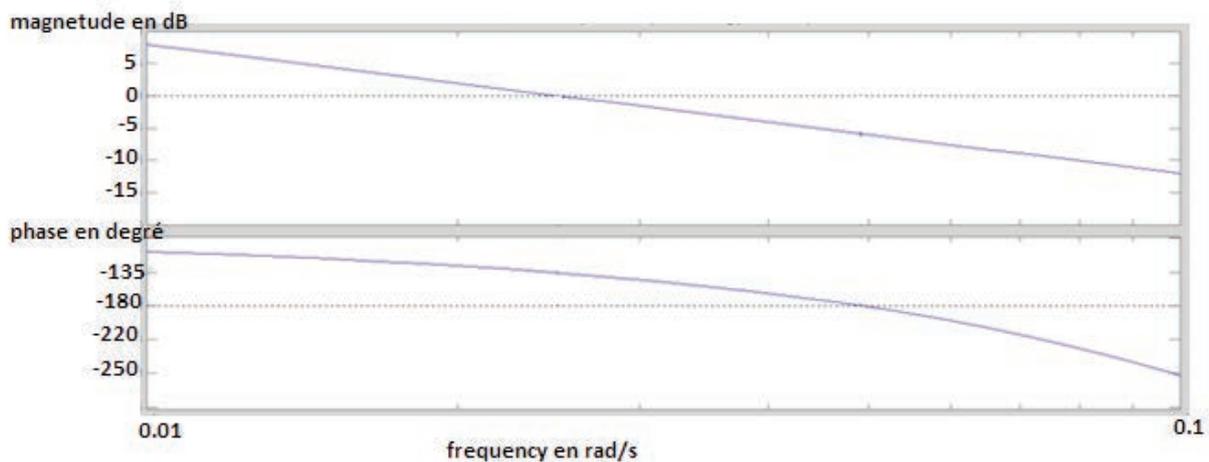


Figure 11 : diagrammes de Bode de $H_2(p)$

F.3.2. Analyse de la boucle externe

La boucle interne étant réglée, nous allons nous attacher au réglage de l'ensemble du système.

Question 38

Rappeler quels sont les critères de qualité d'un asservissement. Dans le cadre de la régulation de l'humidité de la biomasse, indiquer quel critère privilégier.

La fonction de transfert en boucle fermée est de la forme :

$$F_1(p) = \frac{X_1(p)}{W_1(p)} = \frac{1}{(1 + \tau s \times p)^2}$$

Question 39

En appliquant le théorème de la valeur finale, déterminer l'erreur statique pour un échelon correspondant à une consigne de 30% d'humidité.

Question 40

Conclure sur le respect des contraintes fixées par l'exploitant (cf. page 3).

G. Supervision de l'installation

La mini centrale verte est vendue avec une supervision lui permettant un fonctionnement autonome en toute sécurité. Les exploitants peuvent consulter à distance les différents paramètres de la centrale.

Chaque centrale est équipée d'une dizaine d'automates ainsi que d'un poste de supervision constituant un réseau « Intranet ».

Question 41

À partir du document ressource 4, donner, pour chaque classe A, B et C le nombre d'adresses IP utilisables. Justifier le choix d'une adresse réseau de classe C.

Question 42

Le nombre de matériels à connecter sur le réseau « Intranet » est beaucoup plus faible que le nombre d'adresses IP disponibles par défaut dans un réseau de classe C. Proposer et justifier le masque réseau qui pourrait être utilisé si on souhaitait limiter « au mieux » le nombre d'adresses IP disponibles.

Question 43

Pour le réseau « Intranet », une adresse réseau privée de classe C est finalement choisie : 192.168.1.0. Compléter le document réponse 3 en indiquant la première et dernière adresse IP utilisable, ainsi que l'adresse de diffusion.

Question 44

L'adresse IP publique attribuée par le FAI (Fournisseur d'Accès à Internet) est 77.200.133.83. Cette adresse IP fait partie d'un ensemble d'adresses allant de 77.200.0.0 à 77.203.255.255. Donner les caractéristiques de cet ensemble d'adresses : nombre de bits de la partie «réseau» des adresses IP, masque, nombre d'adresses utilisables.

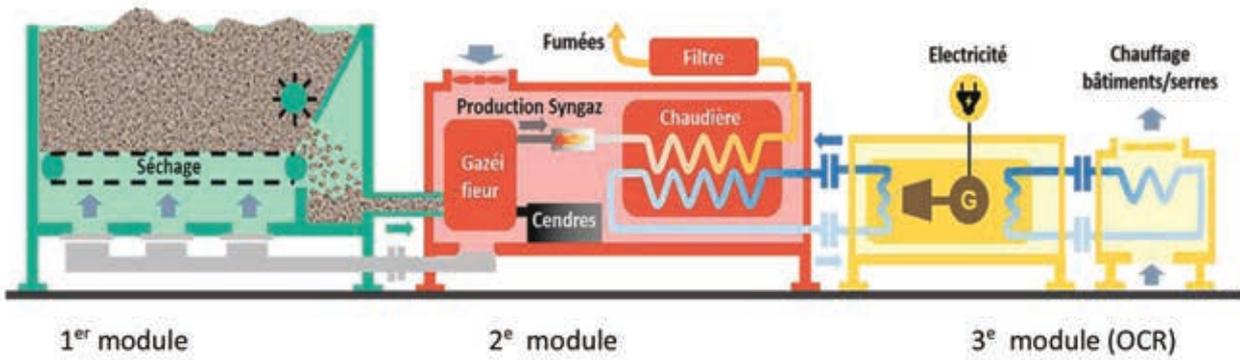
H. Synthèse

Question 45

Conclure en une dizaine de lignes maximum sur la capacité du système à répondre au cahier des charges en mettant en évidence le rôle de la supervision et de la régulation de température.

ANNEXE 1

ARCHITECTURE EN MODULES DE LA MINI CENTRALE VERTE



Composition de la mini-centrale en trois modules

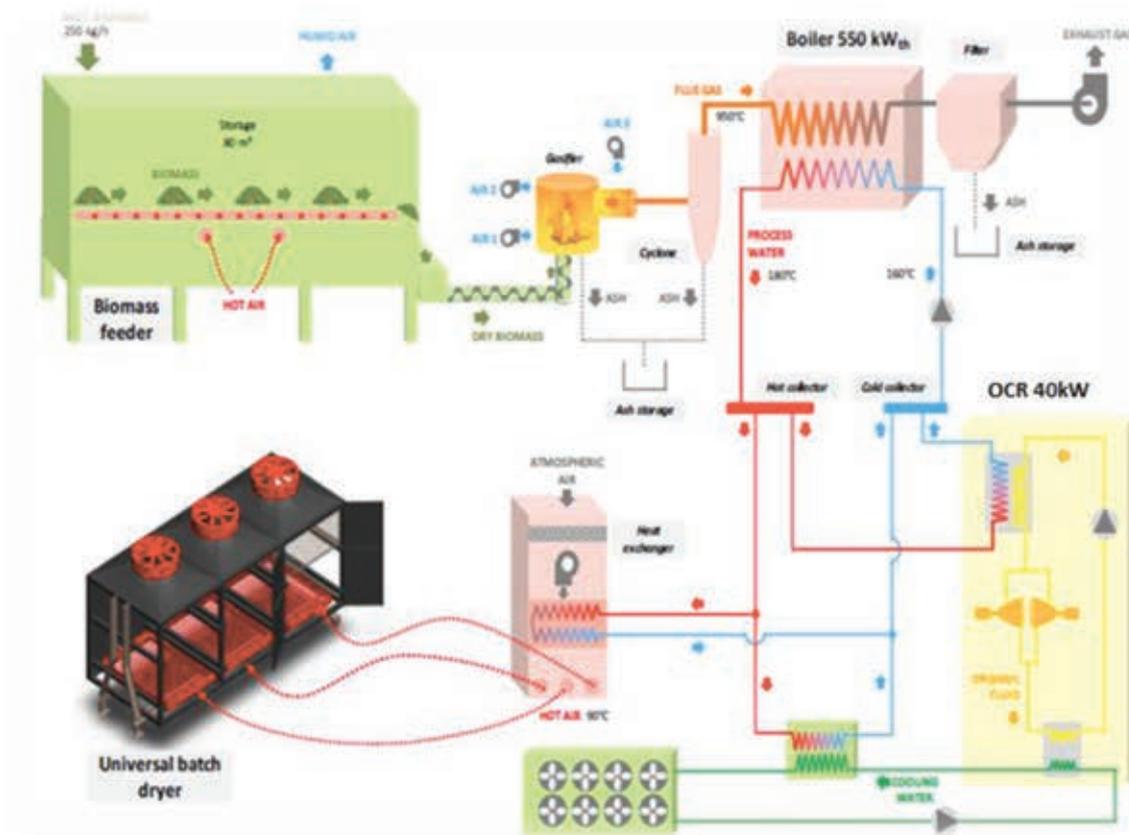


Schéma de principe de la mini-centrale

ANNEXE 2

PROBLÉMATIQUE DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN ITALIE

Document 1 : bilan énergétique (année 2013) de l'Italie (extrait)

Électricité : production 289.1 TW.h

Production par filière :

Thermique	Hydraulique	Biomasse	Éolienne	Autre
59.6 %	18.9 %	6.7 %	5.7 %	9 %

Commerce extérieur d'énergie électrique en KTEP :

Importation : 3813

Exportation : 189

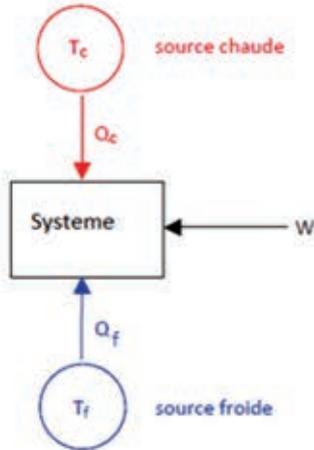
Document 2 : extrait de la répartition des différentes sources de production d'énergie électrique dans l'union européenne (année 2015)

	Type de production en $TW \cdot h$			Production totale (en $TW \cdot h$)	Part du nucléaire dans la production totale	Production d'électricité par habitant (en $KW \cdot h$)
	Nucléaire	Hydraulique et éolienne	Thermique			
Italie	0.00	47.10	197.28	244.38	0.0 %	5288.88
Allemagne	161.58	27.08	366.58	555.24	29.1 %	6779.7
France	397.27	70.76	44.27	512.3	77.5 %	8776.1
Espagne	56.32	40.87	76.55	173.74	32.4 %	4424.1

DOCUMENT RESSOURCE 1

NOTIONS DE THERMODYNAMIQUE

Principe d'une machine ditherme :



1^{er} principe de thermodynamique : l'énergie totale d'un système isolé se conserve.

Donc pour une machine ditherme : $Q_c + Q_f + W = 0$

Avec W : énergie mécanique

Q_f : énergie calorifique de la source froide

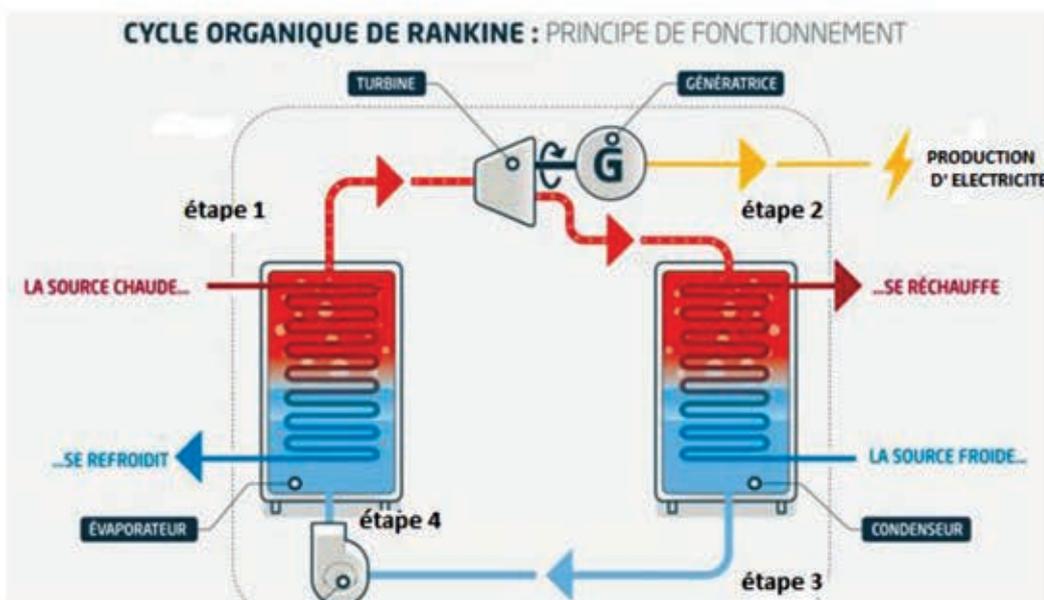
Q_c : énergie calorifique de la source chaude

2^e principe de thermodynamique : l'entropie S d'un système isolé en évolution est une fonction d'état croissante.

Conséquence : si la transformation est réversible, la variation d'entropie est nulle.

$$\frac{Q_f}{T_f} + \frac{Q_c}{T_c} < 0$$

Cycle de Rankine : le fluide, initialement à l'état liquide et à haute pression, est chauffé jusqu'à la température de vaporisation, vaporisé et éventuellement surchauffé grâce à une source chaude (évaporateur). La vapeur produite est ensuite détendue dans une turbine pour produire de l'énergie mécanique, puis ensuite de l'énergie électrique grâce à un alternateur. En sortie de turbine, le fluide à basse pression est refroidi jusqu'à sa température de condensation, condensé et sous-refroidi (condenseur). La pompe véhicule le fluide à l'état liquide entre la sortie du condenseur et l'entrée de l'évaporateur.

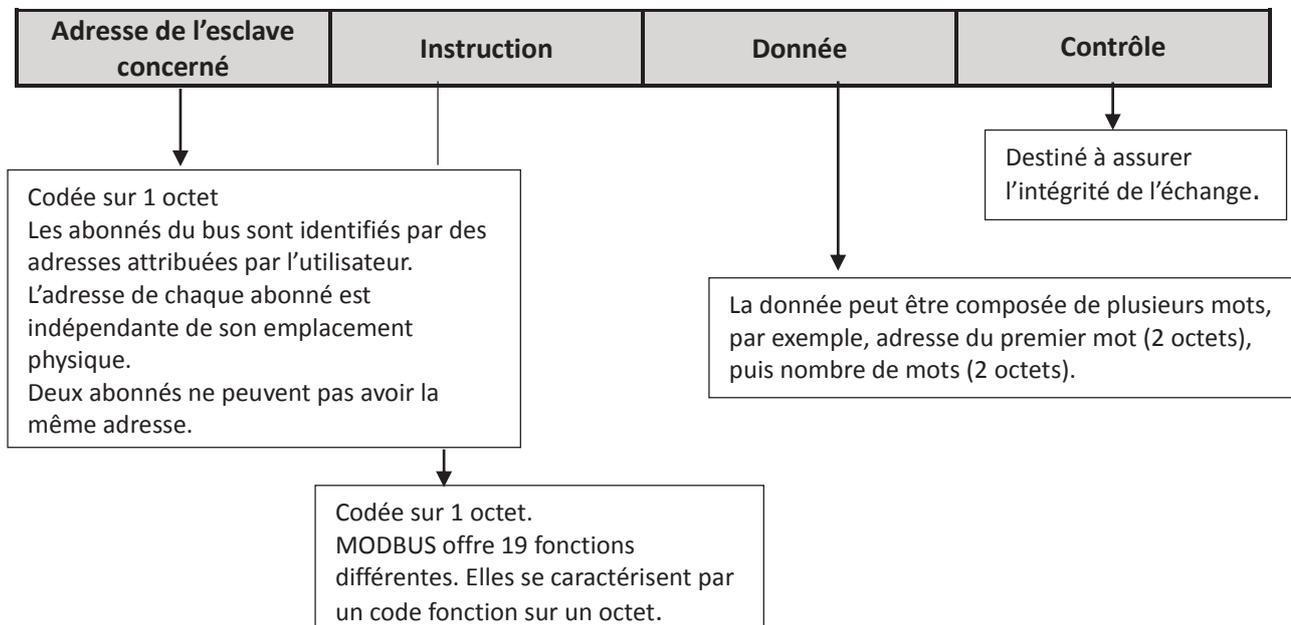


DOCUMENT RESSOURCE 2 : TRAME MODBUS

Extrait Standard MODBUS RS485

Structure d'une trame MODBUS

Le maître envoie un message constitué de la façon suivante :



Exemple : lecture par le maître des mots 450 et 456 sur un ATV-28 (esclave n°2). Cette requête comporte 8 octets :

02	03	01 C2	00 07	XX XX
Numéro de l'esclave	Instruction de lecture de N mots	450 est converti en code hexadécimal	7 mots	Valeur du CRC

Fonctions

MODBUS offre 19 fonctions différentes. Elles se caractérisent par un code fonction sur un octet (en hexadécimal). Tous les équipements ne supportent pas tous les codes fonction. Le tableau ci-dessous donne des exemples de fonctions MODBUS avec leur code en hexadécimal.

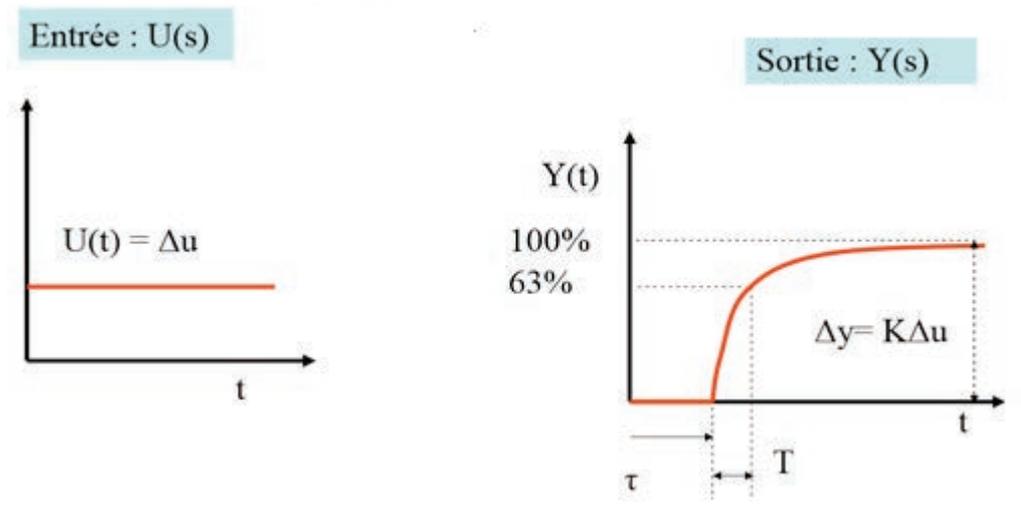
Code hexadécimal	Nature des fonctions MODBUS
01	Lecture de n bits de sortie consécutifs
02	Lecture de n bits d'entrée consécutifs
03	Lecture de n mots de sortie consécutifs
04	Lecture de n mots consécutifs d'entrée
05	Ecriture de 1 bit de sortie

Transmission de chaque octet

Le format (11 bits) pour chaque octet dans le mode RTU est : 1 bit de départ (Start bit), 8 bits de donnée (le bit le moins significatif en premier), 1 bit de parité, 1 bit de stop.

DOCUMENT RESSOURCE 3 : MODELE DE BROÏDA

Identification par la méthode de Broïda : $H(p) = \frac{e^{-\tau p}}{1+Tp}$



Choix du type de régulateur en fonction du rapport T/τ selon Broïda :

T/τ	$\rightarrow 2$	$\rightarrow 5$	$\rightarrow 10$	$\rightarrow 20$	$\rightarrow \infty$
Type de régulateur	Multi-boucles	PID	PI	P	TOR

Paramètres des correcteurs :

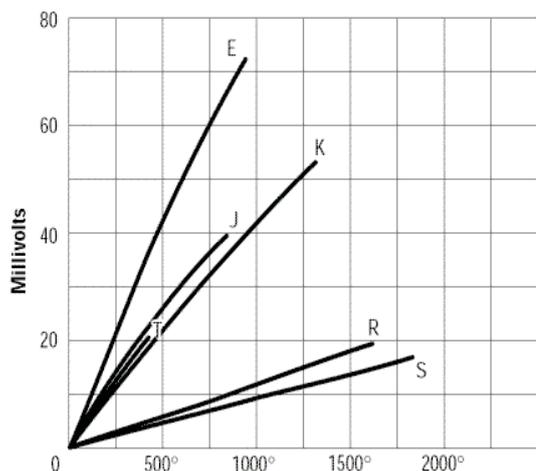
	P	PI série	PI parallèle	PID série	PID parallèle	PID mixte
Kr		$\frac{0.8 * T}{K * \tau}$		$\frac{0.85 * T}{K * \tau}$	$\frac{0.83}{k * \tau * (T + 0.4 * \tau)}$	
Ti	Maxi	T	$1.25 * K * \tau$	T	$\frac{1.3 * K}{\tau}$	$T + 0.4 * \tau$
Td		0		$0.4 * \tau$	$\frac{0.35 * T}{K}$	$\frac{T * \tau}{\tau + 2.5 * T}$

DOCUMENTATION RESSOURCE 4 : CLASSES D'ADRESSES IP

Classe	Bits de départ	Masque de sous-réseau par défaut
Classe A	0	255.0.0.0
Classe B	10	255.255.0.0
Classe C	110	255.255.255.0

DOCUMENT TECHNIQUE 1 : THERMOCOUPLES

Courbes de réponse des thermocouples



Code littéral	Couple	Usage continu Usage intermittent	Précision en %	Remarques
K	Nickel-Chrome Nickel-Aluminium	0°C à 1100°C -180°C à 1300°C	1.5	Bien adapté aux milieux oxydants
T	Cuivre Cuivre-Nickel	-185°C à 300°C -250°C à 400°C	0.5	
J	Fer Cuivre-Nickel	20°C à 700°C -180°C à 750°C	1.5	Pour milieu réducteur
E	Nickel-Chrome Cuivre-Nickel	0°C à 1100°C -180°C à 1300°C	1.5	Utilisation sous vide ou milieu légèrement oxydant
R	Platine-13% Rhodium Platine	0°C à 800°C -40°C à 900°C	1	
S	Platine-10% Rhodium Platine	0°C à 1550°C 0°C à 1700°C	1	Résistance à l'oxydation, à la corrosion

Extraits des tables de conversions en millivolt des thermocouples (température de jonction 0°C)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.878	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
950	39.314	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	36.629	39.669	39.708
960	39.708	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101
970	40.101	40.141	40.180	40.219	40.259	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494
980	40.494	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885
990	40.885	40.924	40.963	41.002	41.042	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276
1000	41.276	41.315	41.354	41.393	41.431	41.470	41.509	41.548	41.587	41.626	41.665
1010	41.665	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053

DOCUMENT TECHNIQUE 2

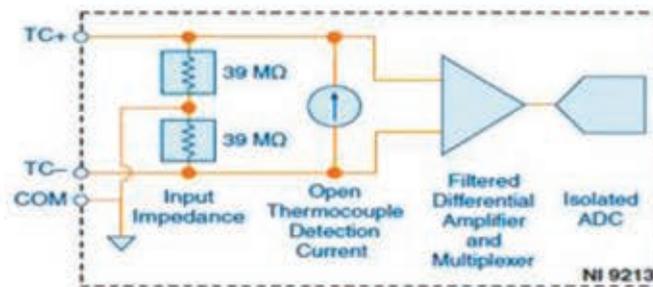
NI 9213

16 TC, 78mV, 24 Bit, 75S/s, Aggregate



- Spring-terminal connectivity
- 50 Hz/60 Hz noise rejection
- Up to 0.02°C measurement sensitivity
- 250 Vrms, CAT II, channel-to-earth isolation

Each channel passes through a differential filter and then is multiplexed and sampled by a 24 bit analog-to-digital converter (ADC). The channels share a common ground, COM, that is isolated from other modules in the system.



Input Characteristics

Number of channels	16 thermocouple channels, 1 internal autozero channel, 1 internal cold-junction compensation channel
ADC resolution	24 bits
Type of ADC	Delta-Sigma
Sampling mode	Scanned
Voltage measurement range	78.125 mV
Temperature measurement ranges	Works over temperature ranges defined by NIST (J, K, T, E, N, B, R, S thermocouple types)

	Mode haute résolution	Mode haute vitesse
Fréquence d'échantillonnage	1 ech / s	75 ech / s
TMRC (Common mode rejection ratio) at DC and 50Hz	100 dB	70 dB
Input bandwidth	14.4 Hz	78 Hz
Noise rejection at 50Hz	60 dB	
Gain error at 25°C	0.03%	0.04%
Offset error	4μV	6μV

DOCUMENT TECHNIQUE 3

HCT01

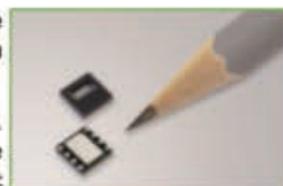
Capteur d'humidité et de température

Le capteur HCT01, pour la mesure de température et d'humidité relative, de haute qualité, en technologie couche mince, assure une intégration et une mise en oeuvre simple et peu coûteuse pour une meilleure adaptation à l'application.

Le capteur capacitif d'humidité pré-réglé de E+E rend tout réglage coûteux inutile. La température est mesurée par un capteur dont la technologie couche mince permet une haute précision, un must pour déterminer le point de rosée avec certitude.

Le boîtier DFN assure une protection mécanique maximale du capteur et permet un montage automatique et une soudure à la vague. Un vernis sur la surface du capteur offre une protection efficace contre la pollution, comme la poussière, le sel ou les agressions chimiques.

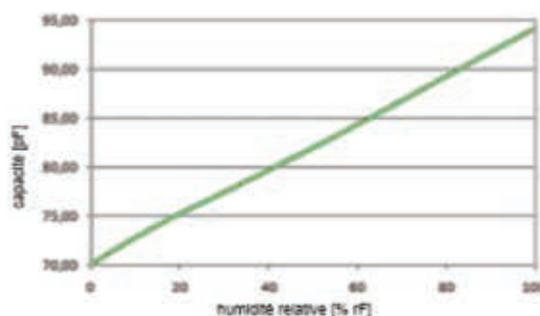
Selon vos exigences de précision et votre système de mesures existant, nos spécialistes ont à leur disposition une palette de solutions, et pourront vous conseiller.



Propriétés du capteur d'humidité

La capacité du capteur augmente de façon linéaire avec une variation capacitive de 25 pF env. au-delà de la plage de mesure complète.

Dans la plage d'humidité comprise entre 0 et 98 % HR, le comportement du capteur peut être représenté avec un écart de $\pm 1,5$ % HR par l'équation linéaire suivante :



La sensibilité est décrite par le polynôme suivant :

$$C(U_w) = C_0 * (1 + HC_0 * U_w)$$

avec $HC_0 = 3420$ ppm/%HR et $C_0 = 70$ pF

U_w : humidité relative en %

DOCUMENT TECHNIQUE 4

EE160

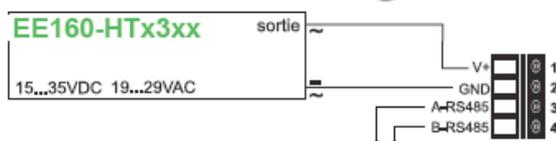
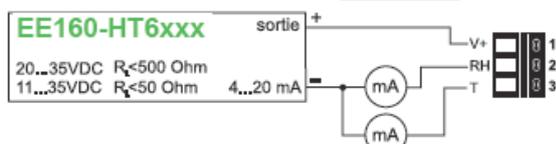
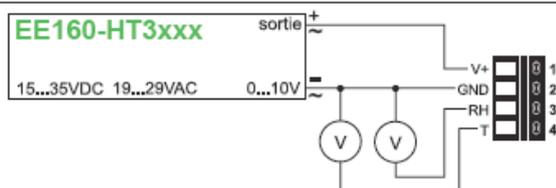
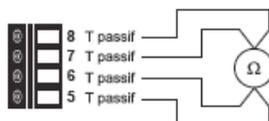
Transmetteur HVAC pour l'humidité et la température

Les transmetteurs EE160 sont la solution idéale pour les applications de climatisation et permettent une mesure précise et à un prix avantageux de l'humidité relative et de la température. Le concept de boîtier choisi réduit fortement les coûts d'installation et offre une protection maximale contre l'encrassement.

Le capteur E+E HCT01, caractérisé par sa stabilité à long terme et sa bonne résistance aux produits chimiques est utilisé comme capteur d'humidité et de température. Les transmetteurs EE160 existent en montage mural ou en gaine et sont dotés d'une sortie courant et tension et d'une sortie numérique.



Schéma de raccordement



Références de commande

Configuration

MODÈLE	ANALOGIQUE ¹⁾	NUMÉRIQUE ¹⁾	CAPTEUR T PASSIF ²⁾	BOÎTIER	TYPE	FILTRE
Humidité + Température (HT)	0-10V (3) 4-20mA (6) aucun (x)	RS485 (3) aucun (x)	Pt 100 DIN A (A) Pt 1000 DIN A (C) NTC 10k (E) aucun (x)	Polycarbonate (P)	Montage mural (A) Montage en gaine (B)	filtre membrane (B)
EE160-						

Paramètres de l'interface - sortie analogique

SORTIE ÉCHELONNABLE	ECHELLE	UNITÉ
Température (Tx)	-30...40° (001)	métrique (M)
	-40...60° (002)	non métrique (N)
	-10...50° (003)	
	0...50° (004)	
	autres (xxx)	

Paramètres de l'interface - sortie numérique

PROTOCOLE	DÉBIT EN BAUDS	PARITÉ	BITS D'ARRÊT	UNITÉ
Modbus (1)	9600 (A)	impair (O)	1 bit d'arrêt (1)	métrique (M)
	19200 (B)	paire (E)	2 bits d'arrêt (2)	non métrique (N)
	38400 (C)	sans parité (N)		

²⁾ Uniquement avec la version analogique

¹⁾ La combinaison sortie numérique + sortie analogique n'est pas possible

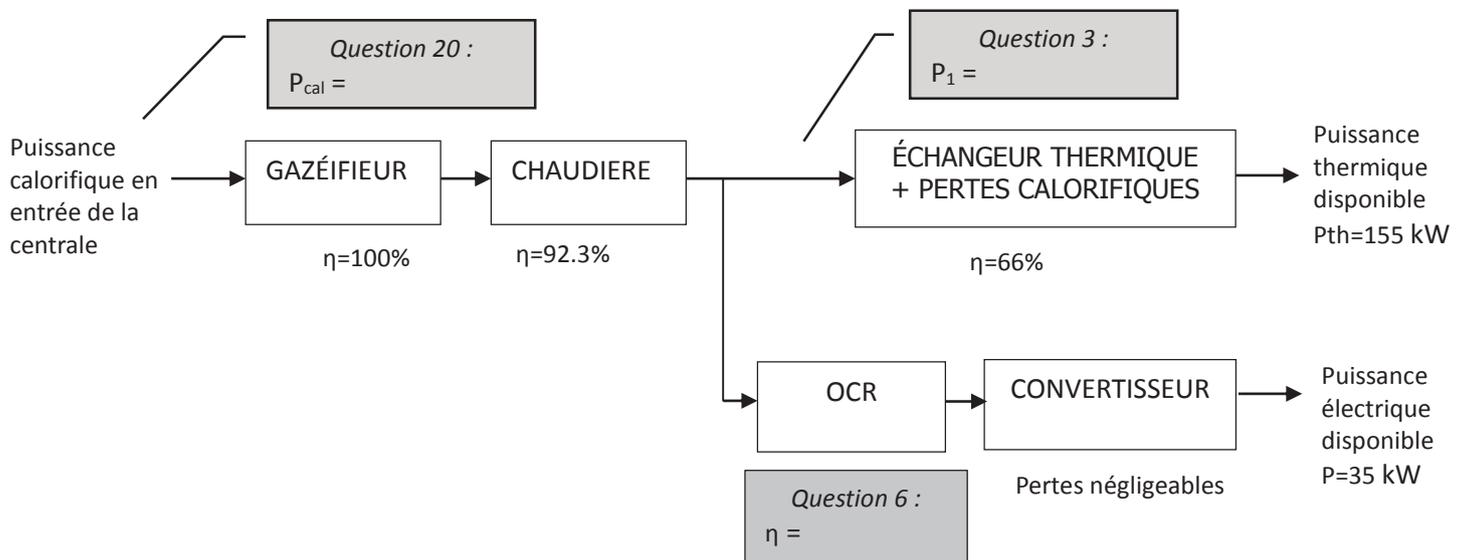
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DOCUMENT RÉPONSE 1

Question 1 :

	Environnementale	Technique
Réponses de la centrale de cogénération à une problématique		

Questions 3, 6, 20 :

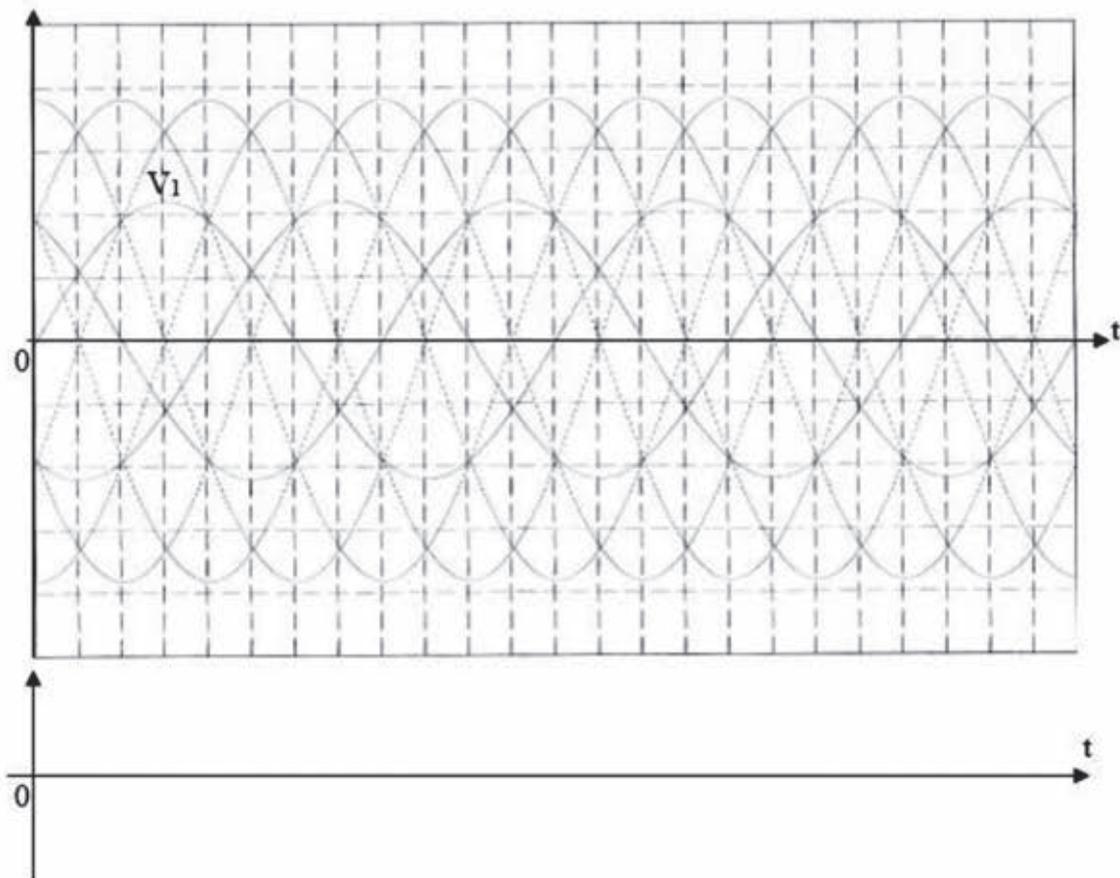


DOCUMENT RÉPONSE 2

Question 4 :

Etape	état du fluide	pression (HP/BP)	température (BT/HT)
1			
2			
3			
4			

Question 9 :

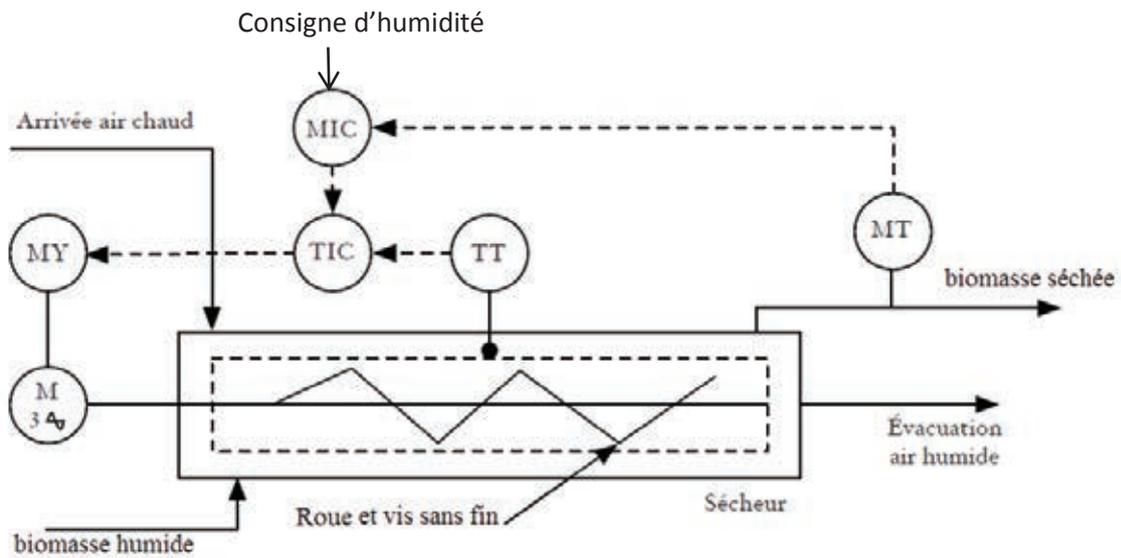


DOCUMENT RÉPONSE 3

Question 26 :

protocole de transmission	vitesse de transmission	nombre de bits de stop	parité

Question 31 :



Question 43 :

Adresse réseau :	192.168.1.0
1 ^{re} adresse IP	
Dernière adresse réseau	
Adresse de diffusion	